

## ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ СВІТЛОДІОДІВ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ МОНТАЖУ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГРІВУ ЗОНИ З'ЄДНАННЯ

Є. М. Косячкін<sup>1, а</sup>, В. В. Іванова<sup>1</sup>, Л. А. Оліфер<sup>1</sup>, Д. М. Кузьменко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

<sup>2</sup>Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України

### Анотація

В даній роботі проведено аналіз впливу температури на характеристики світлодіодів та показана роль методів монтажу як факторів перегріву та вплив традиційних методів паяння на ефективність відведення тепла від цих електронних компонентів. В якості альтернативи для отримання нероз'ємних з'єднань запропоновано застосування багат шарових реакційноздатних фольг.

**Ключові слова:** світлодіоди, температурна деградація, багат шарові фольги, паяння, перегрів.

### Вступ

Електронні компоненти (зокрема, світлодіоди), в яких робочим елементом є напівпровідниковий кристал, дуже чутливі до перегріву [1]. SMD компоненти (*surface mounted device*) – пристрої поверхневого монтажу які дозволяють забезпечити зменшення розмірів та здешевлення кінцевого виробу а також підвищити якість передачі слабких та високочастотних сигналів (за рахунок зменшення небажаної ємності та індуктивності). Саме тому потужні світлодіоди (1 Вт і більше) все частіше виконують у вигляді SMD, але однією з проблем при використанні SMD світлодіодів є їх перегрів під час монтажу, або тривалій експлуатації.

Питання контролю робочої температури світлодіодів є дуже важливим, так як при температурах вище критичної (150°C) відбувається деградація напівпровідникового кристалу, що призводить до таких явищ: відмова роботи пристрою, зменшення строку роботи, зміна кольорних характеристик, зменшення світлового потоку, зміна споживаної потужності, деградація люмінофору [1].

Конструкція SMD світлодіоду передбачає радіатор, на якому розміщується напівпровідниковий чіп (рис. 1.с). При монтажі такого пристрою на плату необхідно забезпечити надійний контакт радіатора світлодіоду з зовнішнім радіатором плати. Цей контакт повинен мати найменший можливий тепловий опір (для ефективного відводу тепла з робочої зони).

Існує два традиційні методи монтажу SMD компонент: пайка оплавленням та пайка хвилею. При пайці оплавленням витримується певний температурний профіль (рис. 2), у якому досягаються температури плавлення припою та вищі (200 – 300°C), при витримці протягом 2 – 3 хвилин, що призводить до перегріву SMD компоненти при монтажі. При пайці

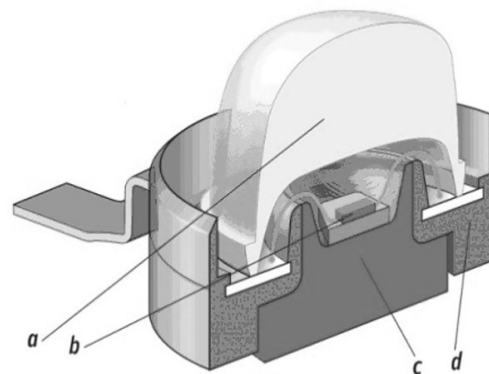


Рис. 1. Основні елементи конструкції потужного SMD світлодіода: а – лінза, b – напівпровідниковий кристал, c – радіатор, d – корпус.

хвилею розігрів відбувається до температур плавлення припою, а контакт триває 30 – 40 с після чого відбувається його досить швидке охолодження як видно на прикінцевому етапі з (рис. 2). Слід зазначити, що пайка хвилею може спричинити до утворення тінювих місць у контакті, тобто поганого з'єднання, що еквівалентно високому температурному опору. Це спричинено тим, що хвиля припою рухається по контуру SMD компоненти, не завжди повністю затікаючи під корпус.

В ряді випадків застосовується пайка в інертному середовищі, при якому відбувається впуск азоту в робочу область. Це використовується для зведення процесів окислення до мінімуму. При нагріванні методом примусової конвекції перенос енергії відбувається на границі з поверхнею та залежить від швидкості повітря та його температури, що дає перевагу контролю відсутності перегріву чутливих компонентів. Нагрів ІК випромінюванням характеризується високою інтенсивністю, але має той недолік що інтенсивність нагріву залежить від кольору ком-

<sup>а</sup>googy94@bk.ru

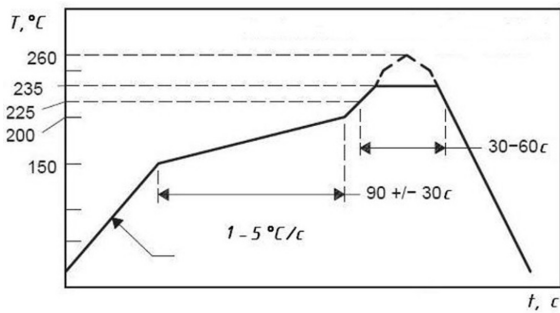


Рис. 2. Температурний профіль пайки оплавленням.

понентів, що може призводити до різниці температур в 40° С.

Саме тому, актуальною проблемою є покращення тепловідводу від SMD приладів, оптимізація існуючих або пошук принципово нових методів монтажу таких компонент, що не призводять до перегріву під час монтажу та мають мінімальний тепловий опір (тобто, максимальна відсутність дефектів з'єднання).

## 1. Температурні фактори деградації SMD світлодіодів

Існує велика кількість факторів деградації напівпровідникових приладів, зокрема світлодіодів. Більшість з них виникає під час створення приладу, та є й такі, що виникають під час експлуатації. Одним з таких факторів деградації світлодіодів є термічна деградація, яка виникає при монтажі приладу, його перегріві під час тривалого використання (неякісний контакт між компонентом та радіатором, високий тепловий опір з'єднання призводять до поганого тепловідводу) та термічній втомі (поява механічних напружень на границі з'єднання при циклічних термічних навантаженнях за рахунок різних коефіцієнтів розширення). Як зазначалося вище, традиційні методи пайки призводять до перегріву під час монтажу, а перегрів при використанні переважно виникає за наявності каверн у припої, що виникають при порушенні умов обробки з'єднуємих поверхонь, або дифузії металу на межі з'єднання (каверни по Кіркендалу та електроміграція) [2]. Термічна втома так само призводить до утворення каверн та розшарування у припої (рис. 3.) [2].

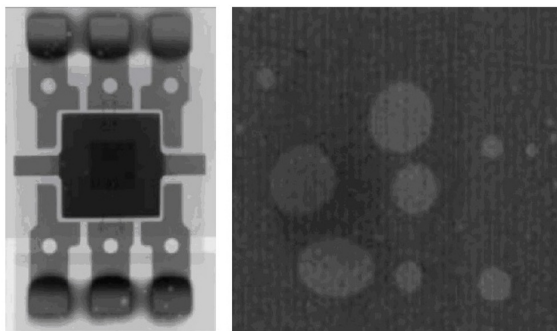


Рис. 3. Рентгенівські знімки припаяних електронних компонент, на яких зображені пустоти.

Окрім деградації спостерігається температурна залежність світлотехнічних параметрів світлодіодів [3] та вольт-амперної характеристики (ВАХ) (рис. 4.), що нами було досліджено експериментально для білих світлодіодів потужністю 1 Вт при підтримці трьох значень температури:  $T_1 = 18.4^\circ\text{C}$  (умовно "холодний" світлодіод),  $T_3 = 42.6^\circ\text{C}$  (в робочому режимі) та  $T_2 = 29.7^\circ\text{C}$ .

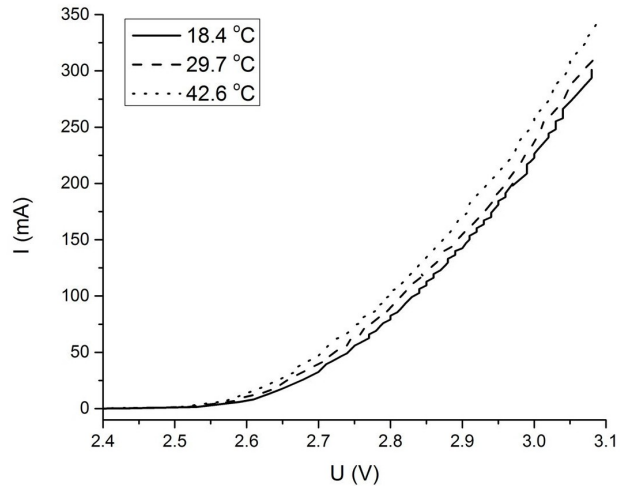


Рис. 4. Залежність ВАХ світлодіоду від температури приладу.

Очевидна зміна споживаної потужності при зміні температури, що спричинює погіршення світлової ефективності світлодіоду. При використанні стабілізованих за напругою джерел живлення світлодіодів, наприклад, в системах освітлення, температурно обумовлена неякісним з'єднання компоненти зміна ВАХ призводить до нерівномірності розподілу струмів між компонентами. Світлодіод з більшим струмом отримає більше навантаження, що призведе до ще більшого розігріву та збільшення навантаження аж до відмови даного світлодіоду.

## 2. Отримання нероз'ємних з'єднань за допомогою багат шарових реакційноздатних фольг

В якості альтернативного методу монтажу SMD компонент, зокрема світлодіодів, пропонується використовувати реакційноздатні багат шарові фольги. В даних фольгах відбувається фазовий перехід 1-го роду (утворення інтерметалідів), що супроводжується виділенням тепла внаслідок екзотермічної реакції. Ці швидкі самопідтримуючі реакції можна розділити на 2 типи: високотемпературний синтез, що самопоширюється та температурний вибух [4]. При високотемпературному синтезі, що самопоширюється реакція починається в певному місці багат шарової фольги та поширюється перпендикулярно до зміни шарів багат шарової фольги (розповсюдження фронту реакції). При температурному вибусі реакція відбувається у всьому об'ємі багат шарової фольги при рівномірному його нагріві. Так як при високотемпературному синтезі реакція є достатньо

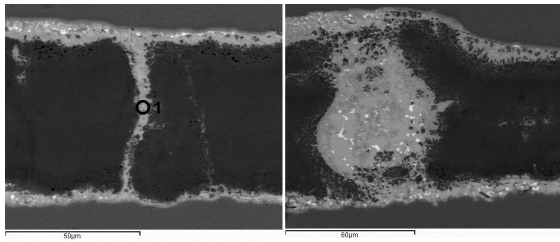


Рис. 5. Структура поперечних з'єднань текстолітових пластин фольгованих міддю.

швидкою, швидкість поширення фронту варіюється від 0,1 до 1000 см/с, то тепло, що виділяється, йде на розігрів та плавлення припою та не встигає прогріти компоненти, що з'єднуються, має місце локальний прогрів. Саме це дозволяє уникнути перегріву чутливих до високих температур елементів SMD приладів при монтажі останніх на плату.

Досліджувані в цій роботі фольги отримані методом електронно-променевого осадження, що дозволяє створити композитну багатопшарову фольгу (перший та останній шари – шари припою) в одному технологічному циклі [5]. Використання такої багатопшарової фольги дозволяє мінімізувати попередню обробку поверхонь, що з'єднуються, та уникнути необхідності проведення додаткових операцій. В табл. 1. представлені реакційні характеристики двох фольг зі схожими структурними параметрами, але одна з них є композитною.

Як видно з табл. 1. припій у композитній структурі багатопшаровій фользі впливає на реакційні характеристики фольги (зменшення температури та швидкості фронту), але цього впливу недостатньо для припинення реакції, а тепла, що виділяється, вистачає на оплавлення припою та утворення з'єднання.

В якості модельних компонент для з'єднання були обрані текстолітові пластинки, фольговані міддю. Композитна багатопшарова фольга закладалась між двома пластинками текстоліту, після чого їх поміщали під тиск 7 кг/см<sup>2</sup> та ініціювали СВС реакцію за допомогою електричної іскри. Так як кінцевий продукт реакції (NiAl) досить крихкий, та під час проходження фронту СВС виникають дуже значні градієнти температури, багатопшарова фольга значно розтріскується, а в утворенні тріщини затікає припій (рис. 5.), що забезпечує утворення композиційної структури з'єднання.

Отримана структура (рис. 5.) дозволяє сподіватись на можливість отримати значно меншу кількість порожнин та каверн, ніж у випадку традиційного методу монтажу, що дозволить не тільки уникнути

перегріву при монтажі, а й при подальшій експлуатації приладу.

## Висновки

Температурний режим є важливим фактором забезпечення надійної роботи світлодіодів. Для створення мінімального теплового опору та достатнього

Табл. 1. Порівняння реакційних характеристик фольг (з та без припою)

Фольга	Al <sub>46</sub> Ni <sub>54</sub> + Sn	Al <sub>47</sub> Ni <sub>53</sub>
Т-ра фронту, К	1450	1990
Швидкість фронту, м/с	0,89	1,24
Мультишар, нм	71	65
Загальна товщина, мкм	59	57

тепловідводу в робочому режимі світлодіоду слід забезпечити його надійне з'єднання з радіатором. Так само слід уникати перегріву SMD компонент при їх монтажі. В роботі пропонується використовувати композитні реакційноздатні багатопшарові фольги для локального розігріву місця з'єднання, що дозволяє уникнути перегріву компонент та забезпечити очікувано бездефектне з'єднання з платою (радіатором). Показано, що одним з чинників якісного з'єднання електронних компонент є покриття багатопшарової фольги на стадії виготовлення припоєм.

## Перелік використаних джерел

1. Просс Холгер. Отказы светодиодов и методы их анализа // Полупроводниковая светотехника. — 2010. — № 3. — С. 47–49.
2. Черняк А. Шекин В. Влияние качества паяных соединений на качество светодиодной продукции // Технологии в электронной промышленности. — 2013. — № 5. — С. 52–56.
3. С. Никифоров. Температура в жизни и работе светодиодов. Часть 2. // Компоненты и технологии. — 2009. — № 9.
4. Рогачев А.С. Григорян А.Э. Илларионова И.Г и др. Безгазовое горение многослойных биметаллических нанопленок Ti/Al // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40, № 9. — С. 45–51.
5. А. И. Устинов Л. А. Олиховская Т. В. Мельниченко и др. Твердофазные реакции при нагреве многослойных фольг Al/Ti, полученных способом электронно-лучевого осаждения // Современ. электрометаллургия. — 2008. — № 2. — С. 19–26.